

Rec'd PCT/PTO 18 MAR 2005

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REQU 18 AOUT 2003

OMPI PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 61 013.4

Anmeldetag: 24. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber: Jens Werner K i p p , Bielefeld/DE

Bezeichnung: Strahlverfahren und -vorrichtung

IPC: B 24 C 3/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 9. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faust

TER MEER STEINMEISTER & PARTNER GBR
PATENTANWÄLTE - EUROPEAN PATENT ATTORNEYS

Dr. Nicolaus ter Meer, Dipl.-Chem.
Peter Urner, Dipl.-Phys.
Gebhard Merkle, Dipl.-Ing. (FH)
Mauerkircherstrasse 45
D-81679 MÜNCHEN

Helmut Steinmeister, Dipl.-Ing.
Manfred Wiebusch

Artur-Ladebeck-Strasse 51
D-33617 BIELEFELD

KIP P01 / 02 / DE2

Wi/li

21.12.2002

Jens Werner Kipp
Klashofsiedlung 3
33659 Bielefeld

STRAHLVERFAHREN UND -VORRICHTUNG

STRAHLVERFAHREN UND -VORRICHTUNG

Die Erfindung betrifft ein Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, bei dem ein Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung einer Strahldüse zugeführt wird und flüssiges CO₂ über eine Zuleitung zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und in die Strahlleitung eingespeist wird, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Ein Strahlverfahren dieser Art wird in US 5 616 067 A beschrieben. Das CO₂ wird in flüssiger Form in eine Ringkammer eingeleitet, die die von Druckluft durchströmte Strahlleitung umgibt, und wird von dort über einen Kranz konvergierender Kapillaren in die Strahlleitung zugeführt, so daß die Entspannung erst bei Eintritt in die Strahlleitung stattfindet. Der auf diese Weise entstehende Trockenschnee wird von der Druckluft mitgeführt und beschleunigt und über die Strahldüse auf das zu reinigende Werkstück abgegeben. Dieses Verfahren dient insbesondere zum schonenden Reinigen von druckempfindlichen Oberflächen, beispielsweise von elektronischen Schaltungsplatinen.

Aus US 5 679 062 ist ein Strahlverfahren bekannt, bei dem gasförmiges oder flüssiges CO₂ oder ein Gas-Flüssigkeits-Gemisch am Auslaß einer Düse entspannt und in eine erweiterte Wirbelkammer eingeleitet wird, in der ein Teil des gasförmigen und/oder flüssigen CO₂ in Trockenschnee umgewandelt wird. Der Auslaß der Wirbelkammer ist unmittelbar an eine Strahldüse angeschlossen. Als Trägergas dient hier nur das zugeführte oder durch Verdampfung entstehende gasförmige CO₂.

In US 5 725 154 A wird ein Strahlverfahren beschrieben, bei dem Trockenschnee durch Entspannung von flüssigem CO₂ mit Hilfe eines Entspannungsventils erzeugt wird. Der Trockenschnee wird über einen dünnen Schlauch, der koaxial von einem Schlauch zur Zufuhr des Trägergases umgeben ist, einer Strahlpistole zugeführt, die dann ein Gemisch aus Trägergas und Trockenschnee abgibt.

Aus WO 00/74 897 A1 ist eine Strahlvorrichtung bekannt, bei der flüssiges CO₂ über eine Kapillare zugeführt wird, die in einer sich konisch erweiternden Düse mündet, deren Durchmesser zum Auslaß hin auf etwa das 3-fache des Durchmessers der Kapillare zunimmt. Diese Düse ist von einer ringförmigen Laval-

- 2 -

Düse umgeben, in der das unter Druck zugeführte Trägergas auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt wird. Die Mündungen der CO₂-Düse und der Laval-Düse liegen auf gleicher Höhe, so daß zwei konzentrische Strahlen abgegeben werden, nämlich ein innerer Strahl, der vorwiegend aus Trockenschnee besteht,
5 und ein Mantelstrahl, durch den der Trockenschnee außerhalb der Düse beschleunigt werden soll.

Auch in Anwendungsfällen, bei denen größere Oberflächen, beispielsweise die Innenflächen von Rohren oder Kesseln in Industrieanlagen, von festsitzenden
10 Verkrustungen befreit werden sollen, ist je nach Beschaffenheit der Verkrustungen vielfach der Einsatz von Trockeneis oder Trockenschnee als Strahlmittel wünschenswert, weil die niedrige Temperatur des Trockeneises oder Trockenschnees zu einer Versprödung des abzulösenden Materials führt. Wenn Trockenschnee-Partikel mit genügend hoher kinetischer Energie in die abzulösende
15 Schicht eindringen, entsteht ein zusätzlicher Reinigungseffekt dadurch, daß die Trockenschnee-Partikel beim Eindringen in die abzulösende Schicht schlagartig verdampfen und so Teile der abzulösenden Schicht absprengen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß kein zusätzlicher Aufwand für die Entsorgung des gebrauchten Strahlmittels erforderlich ist, weil der Trockenschnee zu gasförmigem
20 CO₂ verdampft.

Die Eingangs beschriebenen Strahlverfahren sind jedoch für diese Anwendungsfälle nicht geeignet, weil die erreichbaren Volumenleistungen und Strahlgeschwindigkeiten nicht ausreichen und/oder weil der Trockenschnee nicht in
25 ausreichender Menge entsteht oder nicht die richtigen Konsistenz hat, so daß die kinetische Energie der Trockenschnee-Partikel zu gering ist.

Für die Reinigung von größeren, stark verunreinigten Oberflächen werden deshalb bisher Strahlanlagen eingesetzt, bei denen Trockeneis oder Trockenschnee
30 in fester Form in geeigneten Kühlbehältern bereitgestellt und in eine Druckluftströmung eindosiert wird. Die Druckluft und der als Strahlmittel dienende Trockenschnee werden dann gemeinsam über einen Druckschlauch abgeben, der die Strahlanlage mit der Strahldüse verbindet. Strahlvorrichtungen und -verfahren dieser Art erfordern jedoch einen hohen Installationsaufwand und entsprechend
35 hohe Anlagekosten sowie einen hohen Aufwand für die Bevorratung des Trockenschnees.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, Strahlverfahren und Strahlvorrichtungen zu schaffen, mit denen bei geringem Aufwand hohe Strahlleistungen und eine hohe Reinigungswirkung erzielbar sind.

- 5 Diese Aufgabe wird mit den in den unabhängigen Patentansprüchen angegebenen Merkmalen gelöst.

Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren der Eingangs genannten Art das CO₂ aus der Zuleitung über einen erweiterten Entspannungsraum in die Strahl-
10 leitung eingeleitet.

Überraschend hat sich gezeigt, daß durch geeignete Dimensionierung des Entspannungsraumes und/oder durch geeignete Verfahrensführung die Entstehung großer Mengen an Trockenschnee mit hoher Reinigungswirksamkeit erreicht werden kann. Dabei lassen sich insbesondere auch hohe Volumenleistungen von 0,75 bis 10 m³/min oder mehr erzielen, so daß auch größere oder stark verunreinigte Oberflächen effizient gereinigt werden können. Da der als Strahlmittel dienende Trockenschnee erst unmittelbar bei Anwendung des Strahlverfahrens aus flüssigem CO₂ erzeugt wird, lassen sich die bisher erforderlichen
15 hohen Kosten für die Strahlanlagen und die für die Bereitstellung des Trockenschnees einsparen.

Gemäß einer Ausführungsform wird die Entstehung von stark abrasivem Trockenschnee oder Trockeneis einfach dadurch erreicht, daß der Entspannungsraum ein hinreichend großes Volumen aufweist. In Versuchen konnte durch Vergrößerung des Entspannungsraumes unter sonst gleichen Bedingungen eine Vervielfachung der Reinigungswirkung erreicht werden. Dieses überraschende Phänomen ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß es in dem größeren Entspannungsraum zwischen der Mündung der Zuleitung und der Einspeisungs-
25 stelle in die Strahlleitung zu einer vorübergehenden Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit und damit zu einer Zunahme der Partikeldichte kommt, so daß die zunächst bei der Entspannung fein zerstäubten Trockenschnee-Partikel zu größeren Partikeln agglomerieren oder kondensieren, bevor sie von der Strömung des Trägergases mitgerissen werden. Auf diese Weise entstehen Trockenschnee-Partikel mit größerer Masse, die dann aufgrund ihrer höheren kineti-
30 schen Energie eine hohe Reinigungswirkung entfalten.

Für das Volumen V des Entspannungsraumes bezogen auf die Querschnittsfläche A der Zuleitung für das flüssige CO_2 sollte dann die Beziehung gelten:

$$V^{1/3}/A^{1/2} > 3 \text{ oder vorzugsweise } V^{1/3}/A^{1/2} > 10.$$

5

Alternativ kann das Volumen V des Entspannungsraumes auch auf den Durchsatz ϕ an flüssigem CO_2 bezogen werden. In diesem Fall sollte gelten:

$$V/\phi > 0,2 \text{ m}^3 \text{ s/kg, vorzugsweise } V/\phi > 0,6 \text{ m}^3 \text{ s/kg.}$$

- 10, Das Verfahren ist auch bei kleinerem Volumen des Entspannungsraumes durchführbar, wenn das kleinere Volumen durch einen höheren Druck und entsprechend einen größeren Durchsatz des Trärgases kompensiert wird.

- 15 Als ein wesentlicher Faktor für die Entstehung von stark abrasiven Trockeneispartikeln wird die in dem Entspannungsraum herrschende Temperatur angesehen. Diese Temperatur sollte möglichst niedrig sein, vorzugsweise unter -40°C . Wenn das erfindungsgemäße Verfahren mit einem hinreichend hohen Trärgasdurchsatz durchgeführt wird (z. B. $0,75 \text{ m}^3/\text{min}$), und wenn der Durchsatz an flüssigem CO_2 in einem optimalen Verhältnis zum Luftdurchsatz steht, beispielsweise in der Größenordnung von 0,2 bis 0,4 kg CO_2 pro Kubikmeter Trärgas (Volumen unter Atmosphärendruck), ist die durch Verdampfung von CO_2 entstehende Kühlwirkung offenbar so groß, daß der Entspannungsraum auf einer hinreichend niedrigen Temperatur gehalten wird.

- 25 Durch eine gute Wärmeisolierung des Entspannungsraumes kann die Kühlwirkung effizienter genutzt und somit eine noch tiefere Temperatur im Entspannungsraum erreicht und/oder das Entspannungsvolumen verringert werden. Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens wird deshalb der Entspannungsraum thermisch gegenüber der Umgebung isoliert, so daß sich die gewünschte hohe Reinigungswirkung auch bei kleinem Entspannungsraumvolumen und kleinen Durchsätzen erzielen läßt. Dabei erweist es sich als vorteilhaft, wenn die Zuleitung für das flüssige CO_2 ebenfalls thermisch gegenüber der Umgebung isoliert ist und mit den Wänden des Entspannungsraumes in gutem thermischen Kontakt steht (z. B. durch einen Wärmetauscher), so daß schon in
30 der Zuleitung eine gewisse Vorkühlung des flüssigen CO_2 stattfindet.
35

In Experimenten wurde beobachtet, daß sich an den Wänden des Entspan-

nungsraumes und/oder an den Wänden der Strahlleitung, gegebenenfalls bis in die Strahldüse hinein, schon nach kurzer Betriebsdauer eine verhältnismäßig feste Kruste aus Trockeneis ablagert. Diese Trockeneiskruste verstärkt die thermische Isolierung und Kühlung des Entspannungsraumes und kann auch direkt an der Entstehung verhältnismäßig grobkörniger und harter Trockeneispartikel mit entsprechend hoher Reinigungswirkung beteiligt sein. Wenn der durch die Entspannung des flüssigen CO₂ zunächst entstehende Trockenschnee verwirbelt wird, prallt er mit hoher Geschwindigkeit auf die Wände des Entspannungsraumes und/oder der Strahlleitung, so daß sich dort die erwähnte, relativ stark verdichtete Kruste aufbaut. Andererseits bewirkt die Wärmezufuhr über die Wände des Entspannungsraumes und der Strahlleitung und die dadurch eintretende Sublimation des CO₂ eine Lockerung der Kruste. Insgesamt erhält die Kruste so eine inhomogene, körnige und relativ brüchige Struktur, mit der Folge, daß durch das mit hoher Geschwindigkeit vorbeiströmende Trägergas ständig grobe Trockeneispartikel von der Kruste abgelöst werden und einen Bestandteil des Strahlmittels bilden.

Die erwünschte Entstehung einer solchen Trockeneiskruste kann durch das Vorhandensein von Störkanten im Strömungsweg und durch die dadurch eintretende Verwirbelung des Trockenschnees herbeigeführt oder unterstützt werden. Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist deshalb die Strahlvorrichtung mindestens eine Störkante im Strömungsweg zwischen der Einmündungsstelle der Zuleitung für das flüssige CO₂ und der Strahldüse auf. Diese Störkante kann z. B. an der Übergangsstelle zwischen dem Entspannungsraum und der Strahlleitung gebildet werden, wenn der Entspannungsraum seitlich in die Strahlleitung mündet. Weiterhin können solche Störkanten auch durch ein Innengewinde in einem den Entspannungsraum bildenden Rohrstutzen oder durch feste oder bewegliche Einbauten wie ein Flügelrad, eine Schnecke oder dergleichen im Entspannungsraum gebildet werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn der Entspannungsraum unter einem Winkel von etwa 10 bis 90°, vorzugsweise 20 bis 45°, in Strömungsrichtung in die geradlinig durchgehende Strömungsleitung mündet. Bei dieser Konfiguration wird durch die Strömung des Trägergases eine gewisse Sogwirkung erzielt,

- und der Trockenschnee wird schonend in die in der Strahlleitung herrschende Strömungsrichtung umgelenkt. Da die Strömung des Trägergases in der Strahlleitung eine Komponente quer zur Längsrichtung des Entspannungsraumes hat, ist zu erwarten, daß sich zumindest im stromabwärtigen Bereich des Entspannungsraumes ein Wirbel bildet, der die Verweilzeit des Trockenschnees im Entspannungsraum verlängert und damit die Agglomeration bzw. das Wachstum der Partikel bzw. der Trockeneiskruste begünstigt. Bei kleinerem Durchmesser der Strahlleitung ist der Eintrittswinkel vorzugsweise spitzer, damit das Trockeneis nicht auf die gegenüberliegende Wand der Strahlleitung prallt.
- 10 In einer zweckmäßigen Ausführungsform liegt die Einmündungsstelle des Entspannungsraumes in der Strahlleitung in geringem Abstand stromaufwärts der Strahldüse.
- 15 Die Strahldüse weist vorzugsweise eine Engstelle auf, so daß das Trägergas und das Strahlmittel auf hohe Geschwindigkeit beschleunigt werden. Besonders bevorzugt ist die Ausbildung der Strahldüse als Laval-Düse, in der eine Beschleunigung annähernd Schallgeschwindigkeit oder Überschallgeschwindigkeit erreicht wird.
- 20 Bei der Dimensionierung der Laval-Düse ist zu berücksichtigen, daß durch die Zufuhr von Trockeneis unmittelbar stromaufwärts der Düse die Temperatur des Mediums verringert und seine Dichte vergrößert wird, wodurch sich der Arbeitspunkt der Laval-Düse verschiebt. Um eine optimale Reinigungswirkung zu erzielen, sollte bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der Querschnitt der Engstelle der Laval-Düse größer gewählt werden als in dem Fall, daß das Medium mit gleichem Druck und Durchsatz ausschließlich über die Strahlleitung zugeführt wird. Außerdem wird durch die Sublimation von Trockenschnee das Gasvolumen vergrößert und eine Beschleunigung der Strömung vor, in oder hinter
- 30 der Engstelle der Düse erreicht. Je nach Druckverhältnissen können auch Tropfen aus flüssigem CO₂ in die Strahlleitung oder die Strahldüse gelangen und erst dort verdampfen. Die Position, an der diese Verdampfung und/oder Sublimation stattfindet, läßt sich durch Regulieren der Trägergasströmung so einstellen, daß eine optimale Strahlgeschwindigkeit erreicht wird.
- 35 Wenn der Durchsatz des Trägergases zu groß ist, so daß sich vor der Strahldüse ein hoher Staudruck aufbaut, nimmt die Menge und die Reinigungswirksamkeit

des erzeugten Trockenschnees ab. Deshalb ist es zweckmäßig, in der Strahlleitung stromaufwärts der Einmündungsstelle des Entspannungsraumes ein Drosselventil vorzusehen, mit dem sich der Durchsatz des Trägergases optimal einstellen läßt. Vorzugsweise ist auch in der Zuleitung für das flüssige CO₂ unmittelbar am Eintritt in die Strahlvorrichtung ein Dosierventil vorgesehen, so daß sich das Durchsatzverhältnis von Trägergas und CO₂ unmittelbar an der Strahlvorrichtung einstellen läßt.

All die vorgenannten Maßnahmen können zweckmäßig miteinander kombiniert werden.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird in die Trägergasströmung und/oder in den Entspannungsraum eine geringe Menge an Wasser oder eines anderen festen oder flüssigen Strahlmittels (z. B. feste Trockeneis-Pellets) eindosiert, um den Reinigungseffekt weiter zu steigern.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

- | | |
|---------|---|
| Figur 1 | einen Schnitt durch eine Strahlvorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens; |
| Figur 2 | einen Schnitt durch eine Strahlvorrichtung gemäß einem abgewandelten Ausführungsbeispiel; |
| Figur 3 | eine Detailvergrößerung zu Figur 2; und |
| Figur 4 | einen schematischen Schnitt durch eine sich stufenweise verjüngende Strahlleitung. |

Gemäß Figur 1 wird eine Strahlleitung 10 durch ein gerades zylindrisches Rohr gebildet, das einen Innendurchmesser DL von 39 mm hat. Ein Einlaß 12 der Strahlleitung ist mit einem nicht gezeigten Kompressor verbunden, über den Druckluft mit einem Druck von beispielsweise 1,1 MPa zugeführt wird. An die Mündung der Strahlleitung 10 ist eine als Laval-Düse ausgebildete Strahldüse 14 angekuppelt. Diese Strahldüse hat einen konvergierenden Abschnitt 16, des-

sen Innendurchmesser von 32 mm am stromaufwärtigen Ende auf 12,5 mm an einer Engstelle 18 abnimmt, und einen divergenten Abschnitt 20, dessen Innendurchmesser von der Engstelle 18 aus auf 19 mm am stromabwärtigen Ende zunimmt. Die Gesamtlänge LL der Strahldüse beträgt 224 mm. Die Länge LC des konvergierenden Abschnitts 16 beträgt 83 mm.

Eine Verbindungsmuffe 22 zwischen der Strahlleitung 10 und der Laval-Düse 14 hat einen Innendurchmesser von etwa 32 mm, entsprechend dem Einlaßdurchmesser der Strahldüse.

Unmittelbar stromaufwärts der Verbindungsmuffe 22 weist das die Strahlleitung 10 bildende Rohr einen Abzweig 24 auf, der unter einem Winkel von 45° in Strömungsrichtung in die Strahlleitung 10 mündet. Der Abstand D zwischen dem Abzweig 24 und der Einlaßöffnung der Strahldüse 14 beträgt etwa 66 mm. Stromaufwärts des Abzweigs 24 ist in der Strahlleitung 10 ein Drosselventil 26, beispielsweise ein Kugelhahn, angeordnet.

In den Abzweig 24 ist ein rohrförmiges Übergangsstück 28 eingeschraubt, dessen freies Ende über ein Reduzierstück 30 mit einer flexiblen Zuleitung 32 für flüssiges CO₂ verbunden ist.

Die Zuleitung 32 ist an eine nicht gezeigte Druckflasche angeschlossen, die einen Vorrat an CO₂ unter einem solchen Druck hält, daß das CO₂ bei Umgebungstemperatur flüssig bleibt. Dieser Druck beträgt beispielsweise bei einer Umgebungstemperatur von 20° C etwa 5,5 MPa. Die Zuleitung 32 hat einen Innendurchmesser von 3 mm. Das flüssige CO₂ strömt aufgrund des Druckgefälles, ohne das irgendwelche Fördereinrichtungen erforderlich sind, über die Zuleitung 32 aus. Der Durchsatz wird dabei durch den geringen Querschnitt der Zuleitung 32 begrenzt.

Das Übergangsstück 28 bildet einen Entspannungsraum 34, der zwei zylindrische Abschnitte 36, 38 mit unterschiedlichen Durchmessern aufweist. Der stromaufwärtige Abschnitt 36, der sich unmittelbar an die Zuleitung 32 anschließt, hat einen Innendurchmesser DC1 von 20 mm und eine Länge L1 von 85 mm. Über einen kurzen konischen Abschnitt schließt sich der stromabwärtige Abschnitt 38 mit einem Innendurchmesser DC2 von 32 mm und einer Länge L2 von 105 mm an. Die Gesamtlänge LE des Entspannungsraumes 34 beträgt

somit 190 mm. Der Abzweig 24 hat einen Innendurchmesser DC3 von 39 mm, übereinstimmend mit dem Innendurchmesser DL der Strahlleitung 10.

- An der Stelle, an der die Zuleitung 32 im Reduzierstück 30 in den Entspannungsraum 34 mündet, kann sich das flüssige CO₂ schlagartig entspannen. Dabei wird ein Teil des CO₂ verdampft. Durch die Verdampfung und durch die Druckentlastung kommt es zu einer Abkühlung, so daß ein anderer Teil des flüssigen CO₂, der beim Eintritt in den Entspannungsraum fein zerstäubt wird, zu feinen Trockenschnee-Partikeln kondensiert. Da die Querschnittsfläche des stromaufwärtigen Abschnitts 36 des Entspannungsraumes 34 etwa das 44-fache der Querschnittsfläche der Zuleitung 32 beträgt, durchströmt das Gemisch aus gasförmigem CO₂ und Trockenschnee den stromaufwärtigen Abschnitt 36 des Entspannungsraumes mit mäßiger Geschwindigkeit. Bei Eintritt in den stromabwärtigen Abschnitt 38 wird die Geschwindigkeit weiter reduziert. Auf ihrem Weg durch den verhältnismäßen langen Entspannungsraum 34 können sich die feinen Trockeneis-Partikel zu größeren Partikeln zusammenballen (Agglomeration). Da bei Eintritt in den stromabwärtigen Abschnitt 38 die Strömungsgeschwindigkeit abnimmt und entsprechend der dynamische Druck zunimmt, können die Partikel zum Teil auch durch Rekondensation von gasförmigem CO₂ wachsen. Bei Eintritt in dem nochmals erweiterten Abzweig 24 haben sich daher relativ große Trockenschnee-Partikel gebildet, die nun durch die Sogwirkung der durch die Strahlleitung 10 strömenden Druckluft abgesaugt und zur Strahldüse 14 mitgenommen werden. In der Strahldüse 14 werden die Druckluft und der Trockenschnee auf hohe Geschwindigkeit, eventuell Überschallgeschwindigkeit beschleunigt, so daß ein Strahl mit hoher Reinigungswirkung aus der Strahldüse austritt. Wenn dieser Strahl auf eine zu reinigende Oberfläche gerichtet wird, wirkt der Trockenschnee als Strahlmittel, mit dem die Oberfläche effizient gereinigt werden kann.
- In Versuchen hat sich gezeigt, daß die Reinigungswirkung des in dieser Weise erzeugten Strahls von der Dimensionierung des Entspannungsraumes 34 und vom Durchsatz der Druckluft durch die Strahlleitung 10 abhängt. Ohne Entspannungsraum ergibt sich eine deutlich verringerte Reinigungswirkung. Ebenso nimmt die Reinigungswirkung drastisch ab, wenn der Durchsatz der Druckluft durch die Strahlleitung 10 zu groß ist. Deshalb wird mit Hilfe des Drosselventils 26 der Durchsatz so dosiert, daß eine optimale Erzeugung von Trockenschnee

und eine optimale Reinigungswirkung erzielt werden.

Das beschriebene Ausführungsbeispiel läßt sich in vielfältiger Weise abwandeln.

- 5 Beispielsweise ist es möglich, anstelle einer geraden Strahlleitung 10 eine abgewinkelte Strahlleitung zu verwenden, so daß der Entspannungsraum und der stromaufwärtige Abschnitt der Strahlleitung symmetrisch in den stromabwärtigen Abschnitt der Strahlleitung münden. Denkbar ist auch eine Anordnung, bei der die Strahlleitung 10 zu einem Ringraum erweitert ist, die den Entspannungsraum koaxial aufnimmt.

In einer anderen Ausführungsform kann zwischen der Stelle, an der der Entspannungsraum in die Strahlleitung mündet, und der Strahldüse 14 noch ein längerer Schlauchabschnitt vorgesehen sein.

- 15 Um größere Mengen an Trockenschnee zu erzeugen, ist es möglich, mehrere Zuleitungen 32 über jeweilige Entspannungsräume in die Strahlleitung 10 münden zu lassen. Die Einmündungen der Entspannungsräume in die Strahlleitung können dabei auf dem Umfang der Strahlleitung verteilt und/oder in Axialrichtung versetzt sein. Weiterhin ist es möglich, mehrere Zuleitungen 32 in einen gemeinsamen Entspannungsraum münden zu lassen.

- 25 Über die Strahlleitung 10 kann anstelle von Druckluft auch ein anderes Trägergas zugeführt werden. Diesem Trägergas oder der Druckluft kann auch ein anderes Strahlmittel zugesetzt sein. Ebenso ist es denkbar, zusätzliche feste oder flüssige Strahlmittel über seitliche Zuführungen in die Strahlleitung stromaufwärts oder stromabwärts des Abzweigs 24 oder gegebenenfalls auch in den Entspannungsraum 34 münden zu lassen.

- 30 Figur 2 zeigt eine Strahlvorrichtung gemäß einem abgewandelten Ausführungsbeispiel. Hier wird der Entspannungsraum 34 nur durch das Innere des Abzweigs 24 gebildet. Dieser Abzweig hat ein Innengewinde 40, in den das Reduzierstück 30 eingeschraubt ist. In der Zuleitung 32 ist in geringem Abstand stromaufwärts des Reduzierstücks 30 ein Dosierventil 42 angeordnet, mit dem sich der Durchsatz an flüssigem CO₂ einstellen läßt. Als günstig hat sich eine Einstellung erwiesen, bei der der Durchsatz an flüssigem CO₂ etwa 0,3 kg pro Kubikmeter Trägergas (Luft) beträgt (der Trägergasdurchsatz bezieht sich auf

das Trägergasvolumen unter Atmosphärendruck).

Der Teil der Strahlleitung 10, der den Abzweig 24 enthält, und der sich unmittelbar an das Reduzierstück 30 anschließende Abschnitt der Zuleitung 32 sind in eine Umhüllung 44 aus wärmeisolierendem Material eingebettet, die in der Zeichnung strichpunktiert angedeutet ist. Hierdurch wird zum einen die Handhabung der als Stahlpistole ausgebildeten Strahlvorrichtung erleichtert und zum anderen die thermische Isolierung des Entspannungsraumes 34 und des sich daran anschließenden Abschnitts der Zuleitung verbessert, so daß eine niedrigere Temperatur im Entspannungsraum erreicht wird.

In Figur 3 ist der Abzweig 24 vergrößert dargestellt. Man erkennt, daß das Innengewinde 40 über das Reduzierstück 30 hinausreicht und einen Teil der Innenwand des Entspannungsraumes 34 bildet. Der Strömungsweg für den Trockenschnee von der Mündung der Zuleitung 32 bis in die Strahlleitung 10 wird durch eine Anzahl von Störkanten begrenzt. Eine erste Störkante wird unmittelbar durch die abrupte Querschnittserweiterung von der Zuleitung 32 auf den Innenquerschnitt des Entspannungsraumes 34 an der Innenfläche des Reduzierstücks 30 gebildet. Weitere Störkanten befinden sich an der Einmündungsstelle des Abzweigs 24 in die Strahlleitung 10. Schließlich wirken auch die Gewindgänge des Innengewindes 40 als Störkanten. Diese Störkanten bewirken eine Verwirbelung des Trockenschnees, der sich im Entspannungsraum 34 bildet, und insbesondere das Innengewinde 40 begünstigt das Anhaften des Trockenschnees an den Wänden des Abzweigs 24, so daß sich im Entspannungsraum und teilweise auch in der Strahlleitung 10 eine verhältnismäßig kompakte, jedoch brüchige Kruste 46 aus Trockeneis bildet. Das aus der Zuleitung 34 verdüστε und dabei verdampfende CO₂ bahnt sich einen Weg durch die Trockeneiskruste. Dadurch und durch das Trägergas, das in der Strahlleitung 10 mit hoher Geschwindigkeit an der Kruste 46 aus Trockeneis vorbeiströmt, werden ständig kleine Partikel aus Trockeneis aus der Kruste herausgelöst. Diese verhältnismäßig grobkörnigen und festen Partikel bilden dann ein sehr wirksames Strahlmittel, durch daß eine hohe Reinigungswirkung der Strahlvorrichtung erreicht wird. Diese Trockeneispartikel können auch auf dem Weg durch die Strahldüse 14 noch weiter anwachsen, da sie dort von dem Trägergas umströmt und beschleunigt werden, das feinere Trockenschnee-Partikel enthält. Der genaue Ort, an dem die Agglomeration des Trockeneises und die Bildung der Kruste 46 stattfindet, ist von den jeweiligen Verfahrensbedingungen abhängig und

- 12 -

kann sich (in beiden Richtungen) mehr oder weniger tief in die Strahlleitung 10 und gegebenenfalls die Strahldüse 14 verlagern.

- Der Entspannungsraum 34 hat im gezeigten Beispiel den gleichen Innendurchmesser wie die Strahlleitung 10, kann jedoch wahlweise auch einen kleinen Innendurchmesser haben. Auch der Winkel, unter dem der Abzweig 24 in die Strahlleitung 10 mündet, kann variiert werden, vorzugsweise im Bereich zwischen 20 und 45°.
- 10 Bei dem in Figur 2 gezeigten Beispiel beträgt die Länge LE des Entspannungsraumes (auf der Mittelachse gemessen) etwa 49 mm, und der Durchmesser DC3 des Entspannungsraumes beträgt 32 mm. Der Entspannungsraum 34 hat dann ein Volumen V von etwa 39 cm³. Wenn die Zuleitung 32 einen Innenquerschnitt von etwa 7 mm² hat, entsprechend einem Durchmesser von 3 mm, beträgt das
- 15 Verhältnis $V^{1/3}/A^{1/2}$ etwa 12,8. Der Luftdurchsatz durch die Strahlleitung 10 beträgt in der Praxis vorzugsweise etwa 3 - 10 m³/min, mit einem Optimum bei etwa 4,5 m³/min. Bei einem Verhältnis CO₂ zu Luft von 0,3 kg/m³ betragen die entsprechenden Durchsätze ϕ des CO₂ etwa 0,0015 kg/s bis 0,05 kg/s bzw. 0,023 kg/s für das Optimum. Die entsprechenden Werte für das Verhältnis V/ϕ
- 20 sind dann 0,0026 - 0,0008 m³ s/kg bzw. 0,0018 m³ s/kg für das Optimum. Die Engstelle 18 der Strahldüse 14 hat einen Durchmesser von 13,1.

- Bei einer weiteren, nicht gezeigten Ausführungsform hat die Strahlleitung 10 einen kleineren Innendurchmesser von 12,7 mm, der Durchmesser DC3 des Entspannungsraumes 34 beträgt ebenfalls 12,7 mm, und die Länge LE des Entspannungsraumes beträgt etwa 37 mm. In diesem Fall hat der Entspannungsraum ein Volumen V von etwa 4,7 cm³. Der Luftdurchsatz liegt dann bei vorzugsweise zwischen 1,5 und 2,5 m³/min. Wenn das Verhältnis von CO₂ zu Luft wieder 0,3 kg/m³ beträgt, erhält man für das Verhältnis V/ϕ einen Wert zwischen 0,00062 und 0,00037 m³ s/kg. Der Wert $V^{1/3}/A^{1/2}$ beträgt in diesem
- 30 Falle etwa 6,3. Die Engstelle 18 der Strahldüse 14 hat in diesem Fall einen vorzugsweise Durchmesser von 8 mm.

- Unter diesen Umständen kann stromabwärts der Strahldüse 14 Überschallgeschwindigkeit erreicht werden.
- 35

Zur Geräuschminderung ist es zweckmäßig, an der Mündung der Strahldüse ei-

- 13 -

nen Schalldämpfer anzubringen.

Während bei den oben beschriebenen Ausführungsbeispielen der Innenquerschnitt der Strahlleitung 10 im wesentlichen konstant bleibt, sind auch Ausführungsformen möglich, bei denen dieser Innenquerschnitt variiert. Beispielsweise kann sich der Innenquerschnitt der Strahlleitung in der in Figur 4 gezeigten Weise in zwei Stufen, jedoch mit fließenden Übergängen vereinen. Mögliche Positionen für den Abzweig 24 sind ebenfalls in Figur 4 eingezeichnet.

10

15

20

25

30

35

PATENTANSPRÜCHE

1. Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, bei dem ein Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung (10) zu einer Strahldüse (14) zugeführt wird und flüssiges CO₂ über eine Zuleitung (32) zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und in die Strahlleitung (10) eingespeist wird, dadurch **gekennzeichnet**, daß das CO₂ aus der Zuleitung (32) über einen im Querschnitt erweiterten Entspannungsraum (34) in die Strahlleitung (10) eingeleitet wird und für das Volumen V des Entspannungsraumes und die Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung (32) die Beziehung $V^{1/3}/A^{1/2} > 3$ erfüllt ist.
2. Strahlverfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß für das Volumen V des Entspannungsraumes und die Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung (32) die Beziehung $V^{1/3}/A^{1/2} > 10$ erfüllt ist.
3. Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, bei dem ein Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung (10) zu einer Strahldüse (14) zugeführt wird und flüssiges CO₂ über eine Zuleitung (32) zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und in die Strahlleitung (10) eingespeist wird, dadurch **gekennzeichnet**, daß das CO₂ aus der Zuleitung (32) über einen im Querschnitt erweiterten Entspannungsraum (34) in die Strahlleitung (10) eingeleitet wird, daß das Durchsatzverhältnis zwischen CO₂ und Trägergas mindestens 0,25 kg/m³ beträgt.
4. Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, insbesondere nach Anspruch 3, bei dem ein Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung (10) zu einer Strahldüse (14) zugeführt wird und flüssiges CO₂ über eine Zuleitung (32) zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und in die Strahlleitung (10) eingespeist wird, dadurch **gekennzeichnet**, daß das CO₂ aus der Zuleitung (32) über einen im Querschnitt erweiterten Entspannungsraum (34) in die Strahlleitung (10) eingeleitet wird und daß das Verhältnis zwischen dem Volumen V des Entspannungsraumes (34) und dem Durchsatz an CO₂ mindestens 0,0002 m³ s/kg beträgt.
5. Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, bei dem ein Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung (10) zu einer Strahldüse (14) zugeführt wird und flüssiges CO₂ über eine Zuleitung (32) zugeführt, durch Entspannung in

- 15 -

- 5 Trockenschnee umgewandelt und in die Strahlleitung (10) eingespeist wird, dadurch **gekennzeichnet**, daß das CO₂ aus der Zuleitung (32) über einen im Querschnitt erweiterten Entspannungsraum (34) in die Strahlleitung (10) eingeleitet wird und daß der Entspannungsraum (34) thermisch gegenüber der Umgebung isoliert wird.
- 10 6. Stahlverfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß auch der sich an den Entspannungsraum (34) anschließende Abschnitt der Zuleitung (32) thermisch gegenüber der Umgebung isoliert wird.
- 15 7. Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, bei dem ein Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung (10) zu einer Strahldüse (14) zugeführt wird und flüssiges CO₂ über eine Zuleitung (32) zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und in die Strahlleitung (10) eingespeist wird, dadurch **gekennzeichnet**, daß das CO₂ aus der Zuleitung (32) über einen im Querschnitt erweiterten Entspannungsraum (34) in die Strahlleitung (10) eingeleitet wird und daß durch im Entspannungsraum oder am stromabwärtigen Ende desselben angeordnete Störkanten (40) eine Ablagerung von festem Trockeneis an den Wänden des Entspannungsraumes (34) und/oder der Strahlleitung (10) herbeigeführt wird.
- 20 8. Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, insbesondere nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem ein Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung (10) zu einer Strahldüse (14) zugeführt wird und flüssiges CO₂ über eine Zuleitung (32) zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und in die Strahlleitung (10) eingespeist und über eine Strahldüse (14) abgegeben wird, die eine Engstelle (18) aufweist, dadurch **gekennzeichnet**, daß das CO₂ aus der Zuleitung (32) über einen im Querschnitt erweiterten Entspannungsraum (34) in die Strahlleitung (10) eingeleitet wird, so daß im Entspannungsraum ein Gemisch aus gasförmigem, flüssigem und festem CO₂ entsteht und ein Teil der festen und flüssigen Anteile in der Strahlleitung oder der Strahldüse verdampft, und daß durch Regulierung der Trägergasströmung die Position der Verdampfungszone relativ zur Engstelle (18) bestimmt wird.
- 30 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömung des Trägergases stromaufwärts der Einmündungsstelle des Entspannungsraumes (34) in die Strahlleitung (10) mit Hilfe eines Drossel-

ventils (26) gedrosselt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Trägergas mit einem Druck von mindestens 0,1 MPa, vorzugsweise etwa 1,0 bis 2,0 MPa
5 zum Drosselventil (26) zugeführt wird.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das CO₂ bei Umgebungstemperatur unter einem zur Aufrechterhaltung des flüssigen Aggregatzustands erforderlichen Druck über die Zuleitung (32) zu-
10 geführt wird.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Gemisch aus Trägergas und Trockenschnee in der Strahldüse (14) auf mindestens annähernd Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird.

13. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit einer Strahlleitung (10) zur Zufuhr eines Trägergases und einer Zuleitung (32) für flüssiges CO₂, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Zuleitung (32) mit der Strahlleitung (10) über einen Entspannungsraum (34) verbunden ist und für das Volumen V des Entspannungsraumes und die Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung (32) die Beziehung $V^{1/3}/A^{1/2} > 3$ erfüllt ist.
15
20

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt des Entspannungsraums (34) von der Zuleitung (32) zur Strahlleitung (10) zunimmt.
25

15. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, mit einer Strahlleitung (10) zur Zufuhr eines Trägergases und einer Zuleitung (32) für flüssiges CO₂, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Zuleitung (32) mit der Strahlleitung (10) über einen Entspannungsraum (34) verbunden ist und daß im Entspannungsraum (34) und/oder an der Übergangsstelle zwischen dem Entspannungsraum (34) und dem Inneren der Strahlleitung (10) mindestens eine Störkante (40) ausgebildet ist.
30

16. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, mit einer Strahlleitung (10) zur Zufuhr eines Trägergases und einer Zuleitung (32) für flüssiges CO₂, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Zuleitung (32)
35

- 17 -

mit der Strahlleitung (10) über einen Entspannungsraum (34) verbunden ist und daß zumindest der Entspannungsraum (34) von einer wärmeisolierenden Umhüllung (44) umgeben ist.

5 17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Innenguerschnitt eines stromabwärtigen Abschnitts (38) des Entspannungsraumes (34) annähernd mit dem Innenquerschnitt der Strahlleitung (10) übereinstimmt.

10 18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Entspannungsraum (34) von einer Seite her in einen geraden Abschnitt der Strahlleitung (10) mündet.

15 19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Entspannungsraum (34) unter einem Winkel von 10 bis 90° in Strömungsrichtung in die Strahlleitung (10) mündet.

20 20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß an das stromabwärtige Ende der Strahlleitung (10) eine Laval-Düse als Strahldüse (14) angeschlossen ist.

25 21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Innendurchmesser der Strahldüse (14) an ihrer Einlaßöffnung etwa mit dem Innendurchmesser der Strahlleitung (10) übereinstimmt und daß der Innendurchmesser einer Engstelle (18) der Strahldüse etwa 20 bis 50%, vorzugsweise etwa 35 bis 45 % des Durchmessers der Einlaßöffnung beträgt.

30 22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß in der Strahlleitung (10) stromaufwärts der Einmündungsstelle des Entspannungsraumes (34) ein Drosselventil (26) angeordnet ist.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß in der Zuleitung (32) unmittelbar stromaufwärts des Entspannungsraumes (34) ein Dosierventil (42) angeordnet ist.

- 18 -

ZUSAMMENFASSUNG

Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, bei dem ein Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung (10) zu einer Strahldüse (14) zugeführt wird und flüssiges CO₂ über eine Zuleitung (32) zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und in die Strahlleitung (10) eingespeist wird, dadurch gekennzeichnet, daß das CO₂ aus der Zuleitung (32) über einen im Querschnitt erweiterten Entspannungsraum (34) in die Strahlleitung (10) eingeleitet wird.

10 (Fig. 1)

15

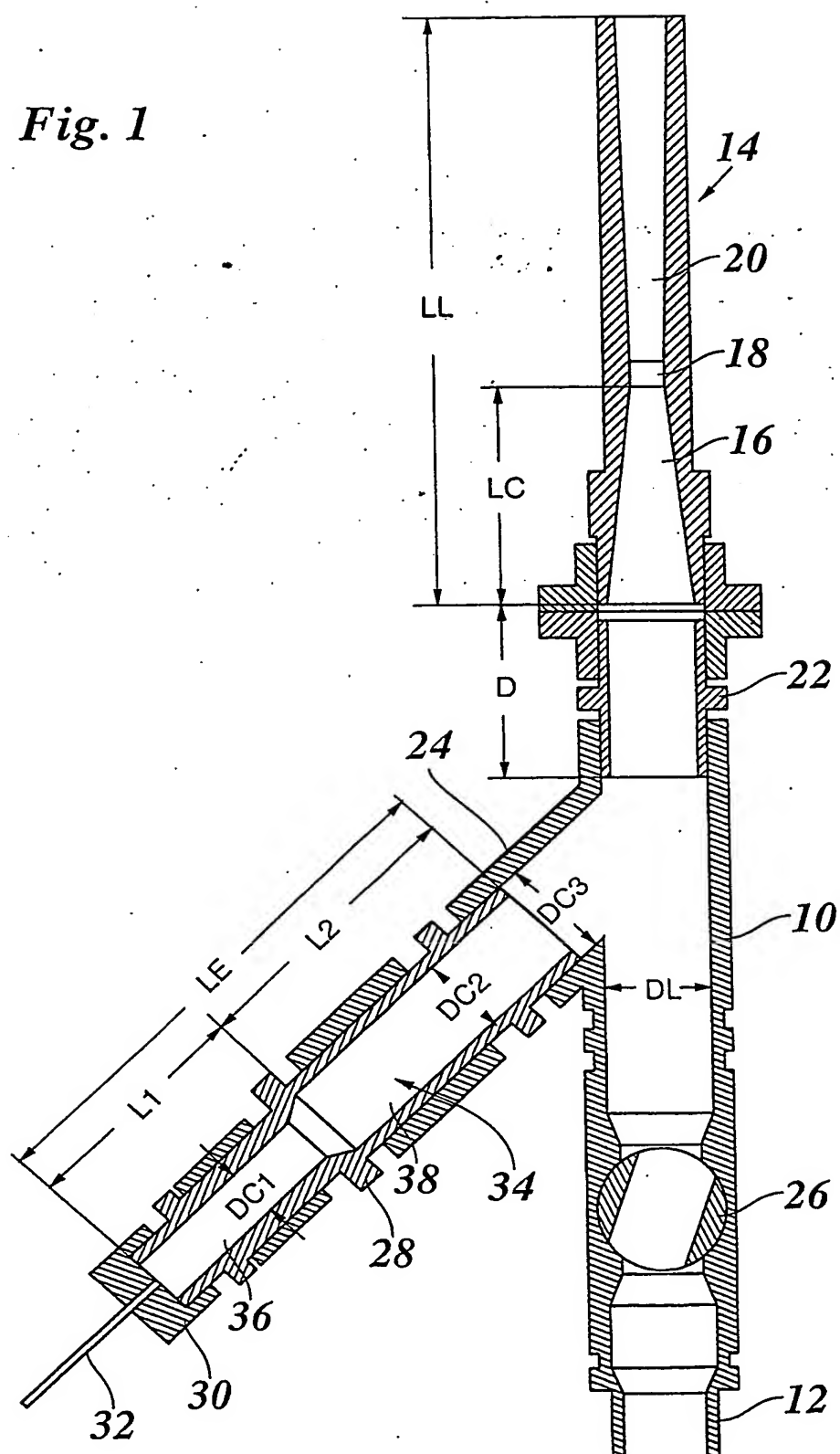
20

25

30

35

1/3

Fig. 1

2/3

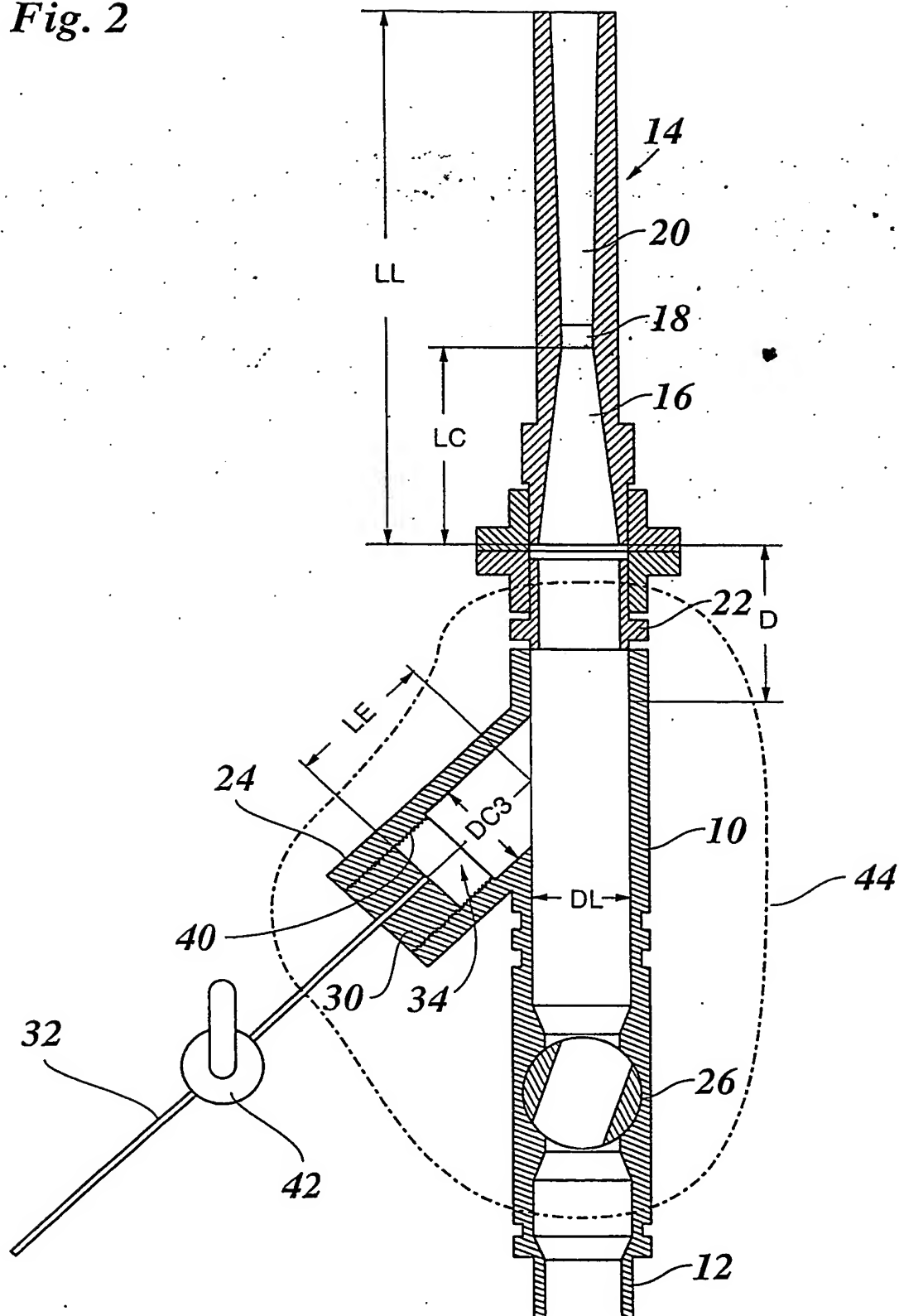
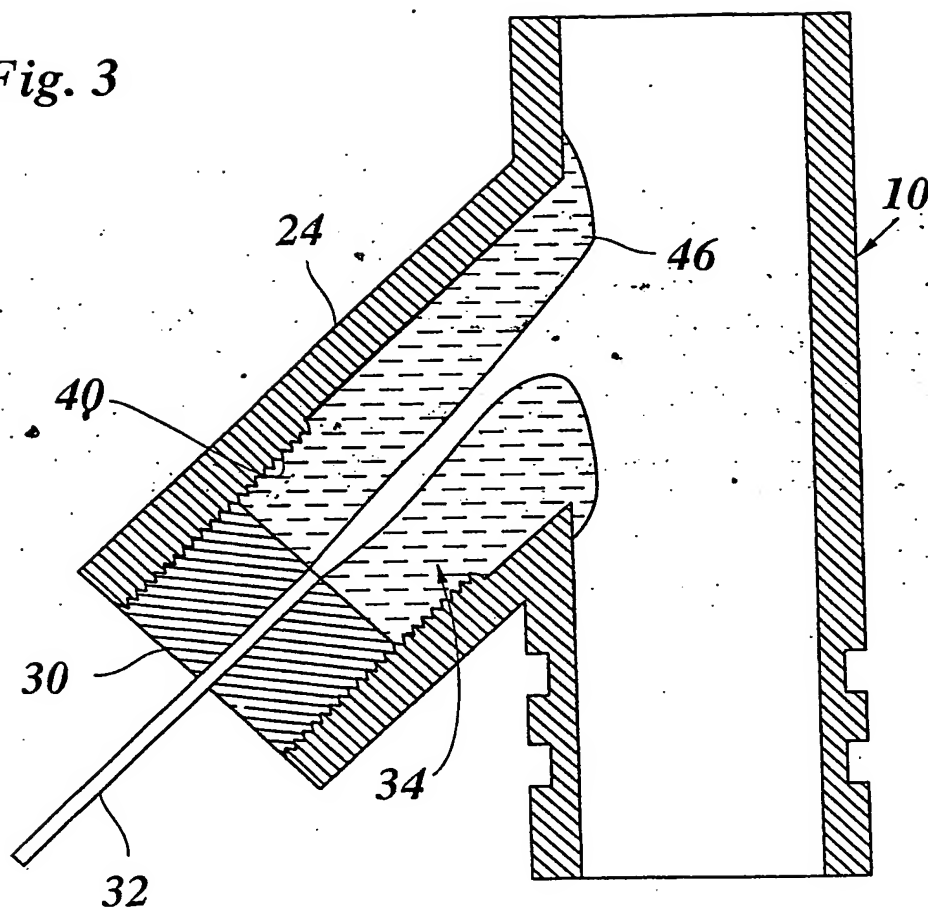
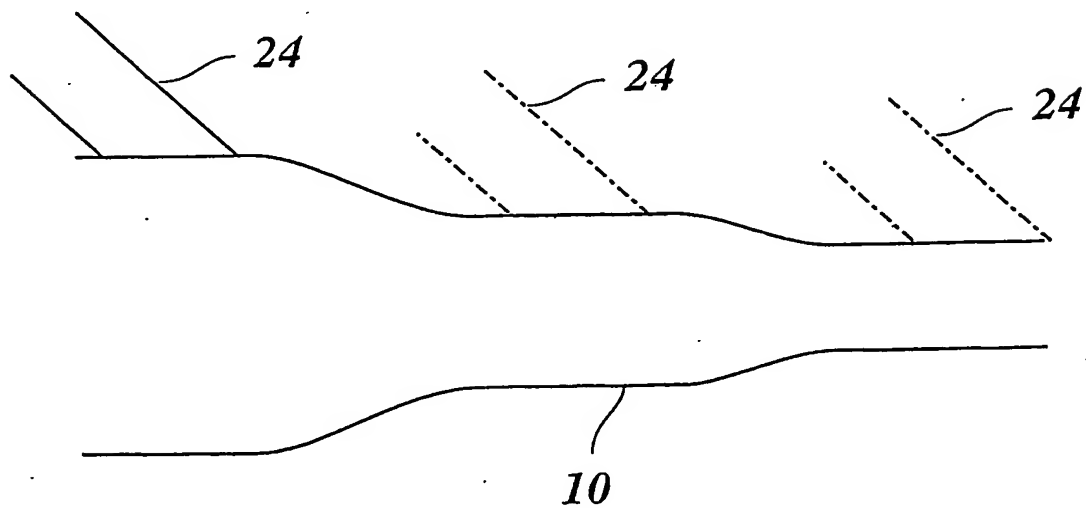
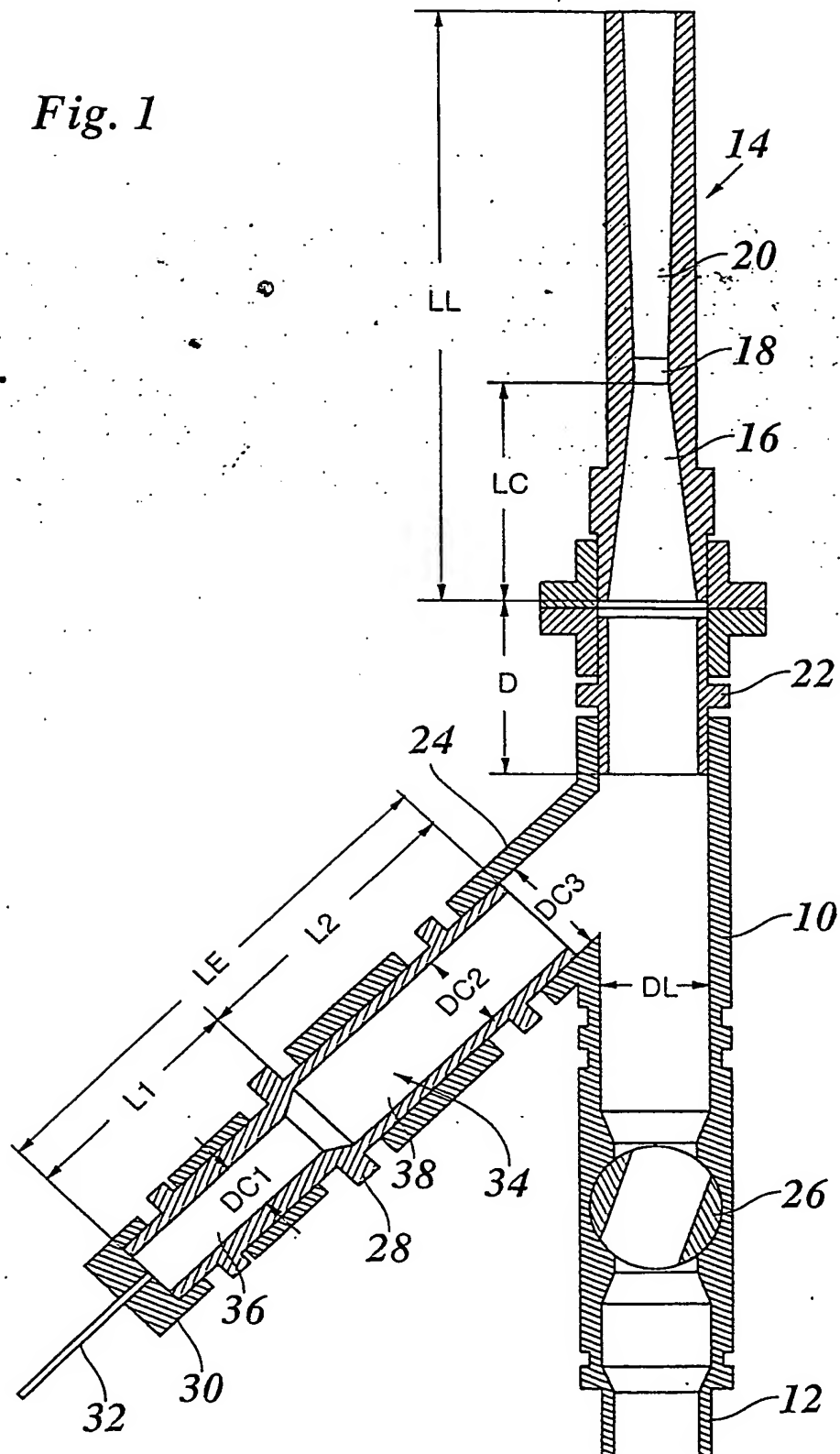
Fig. 2

Fig. 3*Fig. 4*

FIGUR ZUR ZUSAMMENFASSUNG*Fig. 1*

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.